

解答場面と説明場面の差異がもたらす 脳内ヘモグロビン濃度変化の特徴

黒田恭史・岡本尚子

〔抄 録〕

数学教育研究において、数学の問題を解くことと、解答をもとにそれを他者に説明することとは、教育的な面での意味が大きく異なるとされてきた。内容を理解することと、理解した事柄を相手に伝えるのとは、解答に必要な知識以上のものが後者に求められるためである。こうした差異は、通常の授業の中でも活用されており、子ども同士の教えあいの場面は、他者に教えるということが、その内容をより深く理解することにつながるの期待から有効に活用されてきた。本稿では、こうした2つの学習に関わる活動が、どのような脳活動の差異をもたらすのかについて、脳内ヘモグロビン濃度変化を計測し、その特徴について分析する。

キーワード 数学課題、解答と説明、脳科学、ヘモグロビン濃度

1. 研 究 背 景

1.1. 解答することと説明すること

算数・数学の授業は、問題を個人で解くだけでなく、教師と児童・生徒、児童・生徒間同士の様々な交流のもとすすめられる。授業におけるこうした他者との交流は、個人学習以上に理解を促進することがあるため、これまでも授業の様々な場面で効果的に活用されてきた。特に、児童・生徒が教わる側だけでなく、時には教える側に立つことが、学習内容の理解をより深めることにつながることや、あるいは児童・生徒同士の学びあいが、時には教師の説明よりも互いに効果的であるといったことも指摘されてきた。こうした児童・生徒間のやりとりは、佐藤（1999）の言う「学びの共同体」でも重要な要素として位置づけられてきたものであり、今日の社会的な学力向上の要請の中にあっても、軽視すべき事柄ではない。

また、国際的視野の中で算数・数学教育を考えれば、学習した内容を他者にいかに説得力のある形で説明できるのかといったプレゼンテーション能力がより重要となる。既に、柳本ら（2006）は、異なる地点の学級間をテレビ会議システムで結ぶ、国際遠隔協同学習を行っており、そこでは、共通のテーマを設定し、双方が異なるアプローチで学習した内容を、互いに相

手の学級に紹介・説明するという学習を実施している。相手学級への紹介・説明を通して、学習内容をより深く理解したり、整理して考える力を養うことが目指されている。加えて、相手学級の説明に誘発されて、自らの学習内容をさらに多面的に捉えたり、発展させるといった創造性の育成も目標となっている。今後は、こうした学習効果を多面的に分析し、受信と発信の持つ教育的意義について科学的視点から検討していく必要がある。

1.2. 生体情報を用いた教育研究のあり方

fMRI（functional Magnetic Resonance Imaging）や MEG（Magneto Encephalo Graphy）等の脳活動を非侵襲的に計測可能な装置の開発により、学習活動に直接関係する中枢神経系（脳）の生体情報を用いた研究が増加している。中でも、ヘモグロビン濃度変化を計測可能な近赤外分光法（Near Infra-Red Spectroscopy；NIRS）による光計測装置（以下、光計測装置と記す）は、装着が容易、学習姿勢での計測が可能という特長から、教育研究での活用が期待されている（江田 2001）。

ところで、脳科学の実験が、教育研究に還元されるようにするためには、図1に示すようなサイクルを意識して課題設定、実験・分析を行うことが重要である（黒田・岡本 2006）。すなわち、教育研究の中で問題となっている事項（図1左上）を対象として、それをもとに実験課題（図1右上）を設定し、データ計測によって得られた分析結果（図1右下）を、さらに教育研究の文脈で捉えなおし（図1左下）、教育研究に活かしていくという視点である。現在、診断用に用いられてきた言語や数学に関わる医学の立場からの実験課題を通常の学習者にそのまま使用し、得られた実験結果をもとに教育研究に言及することに対しては、医学の立場からも慎重になるべきであるとの指摘がなされており、今後は、教育学と医学の専門家が共同して研究を実施していくことが求められている（加藤 2007）。

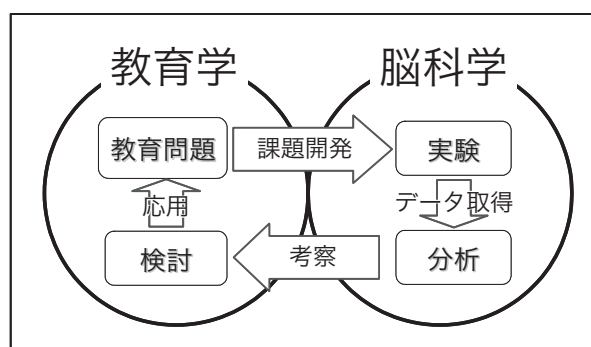


図1 研究のモデル図

1.3. 教室での学習場面を意図した実験課題の設定

近年、算数・数学教育の立場から脳活動計測に関わる臨床実験が始まっている。そこでは、算数・数学の授業等で児童・生徒が理解困難な内容を対象に実験課題が設定されており、その分析結果を教育研究に還元するといった道筋を意識した研究成果が報告され始めている。例え

ば、黒田(2005)は、減法を実験課題として取り上げ、被験者の珠算経験の有無により、繰り下がりのある減法時のヘモグロビン濃度変化が異なることを明らかにしている。このことは、同一課題を用いて実験を行ったとしても、被験者の学習履歴の違いが脳活動の違いに反映されることを示したものであるといえる。すなわち、通常の算数・数学授業においても、各学習者の学習履歴を踏まえて構成する必要があるといえる。また、岡本ら(2006)は、虫食い算(□が数ヶ所ある筆算で、□部分を解答する)を実験課題として取り上げ、課題遂行過程で方略の獲得がなされることによって、頭部内でのヘモグロビン濃度増加の部位が変化することを明らかにしている。このことは、課題の方略獲得の前後で、脳活動は大きく変化することを意味しており、通常の授業展開を考える上においても、個々の学習者の方略獲得における時間差や、その有無による脳活動の違いをどのように調整するかといったことが重要であるということを示しているといえる。

ところで、上記の実験のほとんどは、被験者が1人で課題を遂行する形態が用いられてきた。また、課題遂行時においては、被験者からの質問や他者からの助言といった周囲との関与が行われないよう実験条件が制限されている。これは、学習という行為が、脳の高次機能に該当するため、実験条件を強く制限し、要因を少なくするように設定しなければ、検出されたデータの変化とそれらの要因との照合が困難であったためである。

しかし、この間の実験結果の蓄積と、データ分析がすすんだことから、課題遂行時に他者の関与のある実験の実施が可能となりつつある。そこで、今後はより授業場面に近い環境下での実験を実施していくことが望まれる。例えば、問題を解答する場面であるのか、その解答を用いて他者に教える場面であるのかでは、同一問題であっても、かなり状況が異なるといえ、学習者の授業状況に応じた立場の転換等の詳細な実験を実施していく必要がある。

こうした教室空間で実施される学習に近い状況を再現し、その学習過程における生理学的データの検出を行うことで、算数・数学教育へのより具体的な研究成果の還元が期待される。

1.4. 他者の関与

通常の教室空間での学習は、多様な他者の関与がある中ですすめられるが、こうした状況を実験に取り上げ、脳活動の検出データの特徴と学習過程の因果関係を明確にするためには、実験場面での条件設定を工夫しておく必要がある。例えば、教師が児童・生徒に助言を与える場面を想定した場合、複数の被験者のデータを集積・比較するためには、助言の内容とタイミングが被験者に対して同一に行われなくてはならず、どのような実験手順を取るかが、分析結果に大きく反映されることとなる。こうした助言に関わる研究としては、図形課題遂行時に定期的にヒントが提示される場面を設定し、ヒント提示により被験者のヘモグロビン濃度がどのように変化するのかについて検討したものがある(岡本・黒田 2007)。この研究では、ヒントの有効性の有無により、ヘモグロビン濃度の変化に差異が生じることを示しており、他者の関与の有無やその適正がヘモグロビン濃度変化に反映することを示しているといえる。

教室空間では、教師と児童・生徒のみならず、児童・生徒間での教えあいといった場面も、学習時の他者の関与が生じる重要な場面の一つである。単に問題を一人で解答する場面だけでなく、こうした教えあいの場面における学習者の脳活動の特徴を計測することは、児童・生徒間の教えあいの持つ学習効果や、授業構成を考える上での知見を得ることにつながるといえる。

2. 研 究 目 的

本研究では、数学の課題を解答する場合と、解答を説明する場合とでは、脳内ヘモグロビン濃度変化にどのような特徴が見られるのかを計測し、課題を解くという理解の過程と、得られた解答を用いてそれを他者に説明するという知識の伝達の過程における脳内の変化の特徴を明らかにすることを目的とする。解答と説明は同一の実験課題を使用し、解答する場面と、説明する場面の生理学的データの差異を検討する。

また、安定したデータ取得、及び実験後の詳細な感想取得がデータ分析に際して重要となるため、それらが容易な大学生を被験者とする。今後は、小・中学生を対象とした実験を計画しており、本実験はその基礎実験と位置付けられるものである。

3. 方 法

3.1. 実験環境

本実験は、被験者ごとに単独で実施する。計測者は、機器操作者と、課題説明及び課題取替え者の2名とする。実験に際しての阻害要因（騒音、他の視覚情報、空調不良等）はなく、被験者は課題に専念できる環境である。

3.2. 実験概要

- 1) 実験日：2007年8月25日～9月2日の内5日間（1日あたり被験者1名）
- 2) 実験場所：佛教大学内会議室
- 3) 被験者：大学生5名（22歳4名、21歳1名、女性4名、男性1名、全員右利き）。事前に、実験遂行における安全性と実験結果の扱いに関して説明を行い、実験の遂行とその結果の発表について被験者から文書で同意を得た。
- 4) 計測方法：被験者は椅子に座り、机上で課題に取り組む。被験者の左右前額部にそれぞれプローブを装着（計2箇所）し計測する（図2）。被験者斜め前方よりビデオカメラにて課題遂行時の被験者とその手元を録画する。併せて、ストップウォッチ計測により、課題間の休憩時間等の設定を行う。
- 5) 計測装置：2チャンネル型近赤外線光計測装置（NIRO-200：浜松ホトニクス社製）（図3）

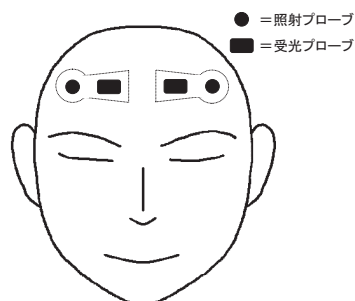


図2 プローブ装着部位

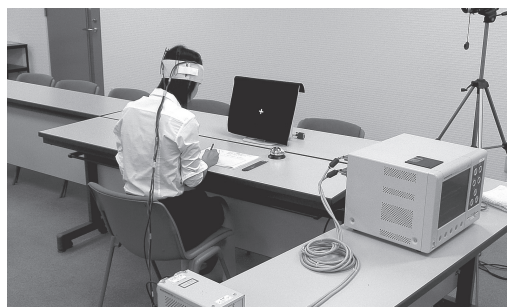


図3 課題遂行場面

3.3. 課題

実験課題は中学校数学レベルの3題とし、代数領域から方程式、幾何領域から図形の論証、計量領域から円錐の表面積の求積を取り上げた。

代数課題：1個150円のパンと、1個100円のおにぎりを合わせて7個買い、代金の合計を900円にしたい。パンを x 個、おにぎりを y 個として、連立方程式を立て、 x と y の値を求めよ。

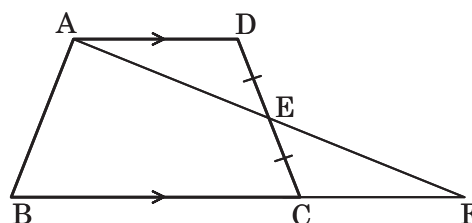


図4 幾何課題の図

幾何課題：図4のように、 $AD \parallel BC$ である四角形ABCDにおいて、辺CDの中点をEとし、AとEを結ぶ。AEの延長とBCの延長との交点をFとすると、 $AE = FE$ であることを証明せよ。

計量課題：図5の円すいの表面積（体積ではない）を求めよ。母線は4cm、底面の半径は3cmである。円周率は、 π を用いること。

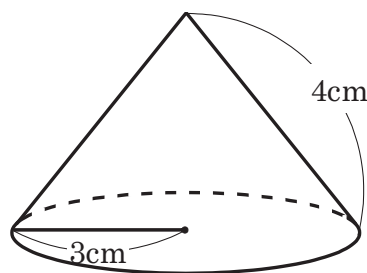


図5 計量課題の図

3.4. 実験方法

被験者は、次の手順をとることとする。

- ① プローブを装着する。
- ② 課題遂行方法の説明を受ける。プレテストを行う。
- ③ 計測者の「始め」の合図とともに、方程式問題を筆記にて解答する。解答終了後、ベルをならす。
- ④ 続いて、中学生に解答を説明する想定で、説明用紙に筆記しながら口頭にて説明を行う。説明終了後、ベルをならす。なお、解答がわからない場合には、ベルを2回ならして解答を途中で終了する。
- ⑤ 1分間安静状態で休憩をとる。

- ⑥ ③～⑤を繰り返し、幾何課題、計量課題を行う。
- ⑦ プローブを外す。
- ⑧ 事後の感想を記述する。

4. 結 果

4.1. 正答数

5名中4名は3問とも正答であり、1名は2問正答、1問誤答（計量課題）であった。

4.2. 所要時間、難度

3課題の平均所要時間、標準偏差、平均難度は、表1の通りである。

表1 3課題の平均所要時間（秒）、標準偏差、平均難度

	代数		幾何		計量	
	解答	説明	解答	説明	解答	説明
平均所要時間	83.0	76.6	212.6	108.6	192.8	130.2
標準偏差	24.0	20.7	74.9	29.3	64.4	35.6
平均難度	1.6	1.8	2.8	1.8	2.2	3.2

平均所要時間より、各課題とも説明場面よりも解答場面の所要時間の方が長く、解答場面の方の標準偏差が大きいことが特徴である。問題別に見ると、代数課題が最短であり、幾何課題と計量課題が同程度である。

また、難度は、計測後の事後の感想記述時に被験者が5点満点（1：簡単、2：やや簡単、3：普通、4：やや難しい、5：難しい）で評価した結果である。解答場面では幾何課題が最も高く、説明場面では計量課題が最も高い。課題種別では、代数課題は、解答場面、説明場面とも低い。およそ、所要時間の長短と難度の高低に対応関係が見られる。

4.3. 被験者のヘモグロビン濃度変化

所要時間の特徴から3名の被験者を取り上げ、行動観察と左右前額部2箇所へのヘモグロビン濃度変化の特徴をもとに検討を加える。それぞれの被験者の所要時間の特徴は以下の通りである。

被験者A：各試行における所要時間が全体平均と類似

被験者B：全体平均に比べ解答場面の所要時間が長い

被験者C：全体平均に比べ解答場面の所要時間が短い

4.3.1. 被験者Aの場合

被験者Aは、女性、22歳である。

【正誤】いずれの問題についても解答は正答であり、説明に間違いはなかった。

【行動観察】所要時間と難度は、表2に示した通りである。

表2 被験者 A の所要時間（秒）と難度（5点満点）

	代数		幾何		計量	
	解答	説明	解答	説明	解答	説明
所要時間	70	70	159	75	177	127
難度	1	2	1	1	4	3

所要時間は、全体平均と類似しており、全体平均よりも全般に若干短いといえる。全体を通して最も所要時間が長かったのは、計量課題の解答場面であり、続いて幾何課題の解答場面である。一方、説明場面の中では計量課題の所要時間が最も長い。難度では、計量課題の解答場面に最も高い数値を付けており、続いて計量課題の説明場面が高く、所要時間の長短との対応関係がみられる。

【事後の感想】

事後の感想では、次のような記述が見られた。

代数課題：2つの式を立てる際、値段についての式であることと、個数についての式であることとを無意識に選択したので、説明する途中までその言葉を思いつかなかった。

計量課題：自分の中では計算が前後しても整理ができたが、説明する際には、一連の流れで計算を進めるべきだと思ったのでその進め方の違いがあった。

上記の感想記述から、代数課題、計量課題とも、解答場面よりも説明場面において工夫しようとする傾向が見られる。

【ヘモグロビン濃度変化】

光計測装置によって計測可能なヘモグロビンは、酸素化ヘモグロビン（以下、oxyHb と記す）、脱酸素化ヘモグロビン（以下、deoxyHb と記す）である。oxyHb は、酸素を有したヘモグロビンであり、deoxyHb は、oxyHb が酸素を放出（消費）したヘモグロビンである。通常、何らかの活動を行う際には、活動前よりも多くの oxyHb が脳内に流入することから oxyHb が増加する。そして、脳内のある部位で神経活動（酸素の消費）が生じると、その部位で oxyHb が deoxyHb に変化するため deoxyHb が増加する。

以下では、左右前額部2箇所のヘモグロビン濃度計測データの特徴について検討する。図6が左前額部、図7が右前額部のグラフであり、横軸が所要時間、縦軸がヘモグロビン濃度（oxyHb が黒色線、deoxyHb が灰色線、図8～図11のグラフも同様）の増減である。横軸の長さは、被験者3名のグラフとも所要時間が最長の被験者Bに統一しているため、図8～図11の横軸の長さは同一である。考察の観点は、左右部位比較、課題間比較、解答・説明場面比較の3点である。

- ・左右両側におけるoxyHbは全体的に左側の方で高い値を示す傾向を持ちながら類似した変化を示し、deoxyHbはほぼ類似した変化を示す。
- ・代数課題におけるoxyHbは解答場面では継続的な増加、説明場面では上下変動を繰り返した

がら均衡を示し、deoxyHbは解答場面では継続的な減少、説明場面では山型を示す。

- ・幾何課題におけるoxyHbは解答場面では継続的な増加、説明場面では上下変動を繰り返しながら均衡を示し、deoxyHbは解答場面では継続的な減少、説明場面では上下変動を繰り返しながら均衡を示す。
- ・計量課題におけるoxyHbは解答場面では山型の増加、説明場面では上下変動を繰り返しながら均衡を示し、deoxyHbは解答場面では若干の減少、説明場面では上下変動を繰り返しながら増加後、減少する。

3課題の解答場面と説明場面における特徴をまとめると、次のようになる。解答場面におけるoxyHbは小刻みな上下変動を繰り返しながらも緩やかに上昇を示し、説明場面におけるoxyHbは大きな上下変動を繰り返しながら均衡を示す。解答場面におけるdeoxyHbは小刻みな上下変動を繰り返しながらも緩やかに減少を示し、説明場面におけるdeoxyHbは上下変動を繰り返しながら増加（山型）、均衡を示す。また、解答場面、説明場面ともに上下変動を繰り返すが、oxyHb、deoxyHbとも解答場面よりも説明場面の方が上下変動の回数が多い傾向にある。

難度が高いと回答した計量課題の解答場面（難度4）と説明場面（難度3）の特徴としては、次の点が挙げられる。解答場面でのoxyHbは他の2課題が上昇を続けるのに対し山型（後半は減少傾向）を示し、deoxyHbは他の2課題と比較して減少幅が小さい傾向にある。説明場面でのoxyHbは他の2課題と同様に上下変動を繰り返すが、deoxyHbは他の2課題と比較して上下変動が大きい傾向にある。

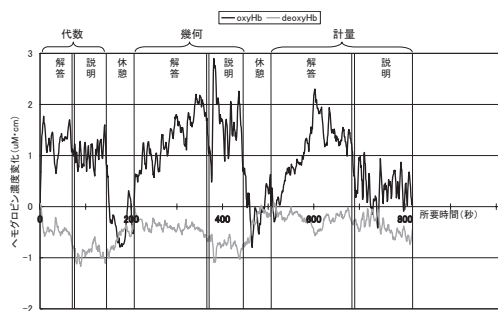


図6 左前額部の計測データ

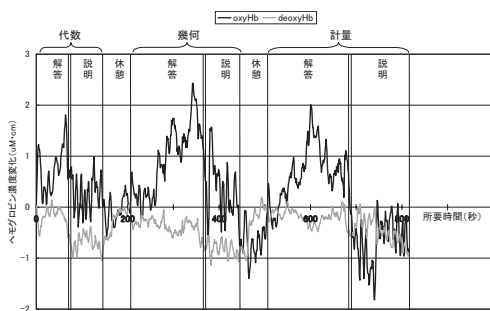


図7 右前額部の計測データ

4.3.2. 被験者Bの場合

被験者Bは、男性、21歳である。

【正誤】いずれの問題についても解答は正答であり、説明に間違いはなかった。

【行動観察】所要時間と難度は、表3に示した通りである。

所要時間は、いずれの課題においても解答場面で説明場面の約2倍以上の時間を要しており、全体平均と比べても解答場面で時間を要しているといえる。難度では、幾何課題の説明場面と計量課題の解答場面、説明場面に最も高い数値を付けており、続いて幾何課題の解答場面が高

い。説明場面よりも解答場面の方が所要時間を多く要しているが、難度は同程度、もしくは説明課題に高い値を付けている。

表3 被験者Bの所要時間（秒）と難度（5点満点）

	代数		幾何		計量	
	解答	説明	解答	説明	解答	説明
所要時間	80	43	260	86	295	137
難度	2	2	3	4	4	4

【事後の感想】

事後の感想では、次のような記述が見られた。

幾何課題：証明問題の解き方通りに書けばよかったので、型にはめれば正解を導き出せ、書く方はそれなりに楽だった。しかし、説明を行うとき、書く方でごまかして書かなかった部分の説明もしなければならなかったところが、問題を自分で解くだけではわかりにくい部分だった。

計量課題：まず正しい答えを導き出せたのかどうか、少し自信がなかった。そのため証明も、自分の考えを説明していたにすぎなかった。その説明も、導き出した答えに自信がなかったため、くわしい説明ができていなかったと思った。

上記の感想記述から、幾何課題、計量課題とも、解答場面よりも説明場面において戸惑いや工夫しようとする傾向が見られる。これは、被験者Aと同様の傾向である。

【ヘモグロビン濃度変化】

以下では、左右前額部2箇所へのヘモグロビン濃度計測データの特徴について検討する。図8が左前額部、図9が右前額部のグラフである。考察の観点は、左右部位比較、課題間比較、解答・説明場面比較の3点である。

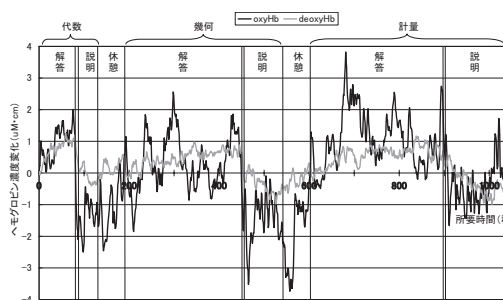


図8 左前額部の計測データ

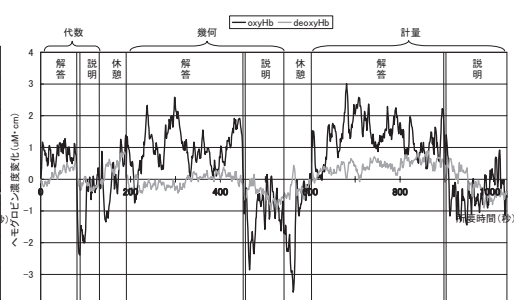


図9 右前額部の計測データ

- ・左右両側におけるoxyHbはほぼ類似した変化を示し、deoxyHbは全体的に左側の方で高い値を示す傾向を持ちながら類似した変化を示す。
- ・代数課題におけるoxyHbは解答場面では継続的な増加、説明場面では上下変動を繰り返しながら山型を示し、deoxyHbは解答場面では継続的な増加、説明場面では均衡を示す。

- ・幾何課題におけるoxyHbは解答場面では上下変動を繰り返しながら増加，説明場面では上下変動を繰り返しながら山型を示し，deoxyHbは解答場面では継続的な増加，説明場面では山型を示しながら減少する。
- ・計量課題におけるoxyHbは解答場面では上下変動を繰り返しながら増加，説明場面では上下変動を繰り返しながら均衡を示し，deoxyHbは解答場面では増加，説明場面では減少を示す。

3 課題の解答場面と説明場面における特徴をまとめると、次のようになる。解答場面における oxyHb は小刻みな上下変動を繰り返しながらも緩やかに上昇を示し，説明場面における oxyHb は大きな上下変動を繰り返しながら山形，均衡を示す。解答場面における deoxyHb は小刻みな上下変動を繰り返しながらも上昇を示し，説明場面における deoxyHb は減少を示す。また，解答場面，説明場面ともに上下変動を繰り返すが，oxyHb，deoxyHb とも解答場面よりも説明場面の方が上下変動の回数が多い傾向にある。

難度が高いと回答した3場面（いずれも難度4；幾何課題の説明場面，計量課題の解答場面，説明場面）の特徴としては，oxyHb の上下変動が非常に大きいということが挙げられる。

4.3.3. 被験者 C の場合

被験者 C は，女性，22歳である。

【正誤】 いずれの問題についても解答は正答であり，説明に間違いはなかった。

【行動観察】 所要時間と難度は，表4に示した通りである。

表4 被験者 C の所要時間（秒）と難度（5点満点）

	代数		幾何		計量	
	解答	説明	解答	説明	解答	説明
所要時間	50	98	114	109	126	129
難度	1	1	1	1	2	4

所要時間は，代数課題の解答場面を除いて類似した傾向にある。全体平均と比較すると3課題とも解答場面の所要時間が短いことが特徴として挙げられる。最も所要時間が長いのは計量課題の説明場面であり，続いて計量課題の解答場面である。難度は，全般に低い傾向にあるが，計量課題の説明場面と解答場面に高い数値を付けており，所要時間の長短との対応関係がみられる。

【事後の感想】

事後の感想では，次のような記述が見られた。

計量課題：側面の面積を求める時が難しかった。おうぎ形をどうやって求めるか，自分の中では図的に半径4cm の円の3/4と理解しても，それを子どもに分かるように説明するというのは難しかった。

上記の感想記述から，所要時間が長く難度を高いとした計量課題の解答場面と説明場面の双

方において、戸惑いや工夫しようとする傾向が見られる。

【ヘモグロビン濃度変化】

以下では、左右前額部2箇所のヘモグロビン濃度計測データの特徴について検討する。図10が左前額部、図11が右前額部のグラフである。考察の観点は、左右部位比較、課題間比較、解答・説明場面比較の3点である。

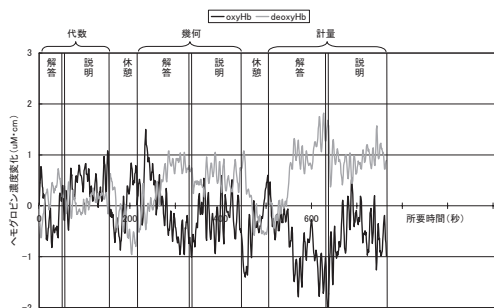


図10 左前額部の計測データ

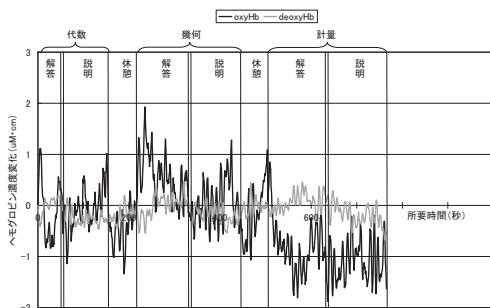


図11 右前額部の計測データ

- ・左右両側におけるoxyHbはほぼ類似した変化を示し、deoxyHbは全体的に左側の方で高い値を示す傾向を持ちながら類似した変化を示す。
- ・代数課題におけるoxyHbは解答場面では一旦増加後、減少し、説明場面では上下変動を繰り返しながら均衡を示し、deoxyHbは解答場面では一旦減少後、増加し、説明場面では上下変動を繰り返しながら均衡を示す。
- ・幾何課題におけるoxyHbは解答場面では上下変動を繰り返しながら山型となり、説明場面では上下変動を繰り返しながら均衡を示し、deoxyHbは解答場面では緩やかな増加、説明場面では均衡を示す。
- ・計量課題におけるoxyHbは解答場面では上下変動を繰り返しながら減少し、説明場面では上下変動を繰り返しながら均衡を示し、deoxyHbは解答場面では増加、説明場面では大きな上下変動を繰り返しながら均衡を示す。

3課題の解答場面と説明場面における特徴をまとめると、次のようになる。解答場面におけるoxyHbは代数課題、幾何課題では上昇あるいは山型となるが、計量課題では減少を示し、説明場面におけるoxyHbは大きな上下変動を繰り返しながら均衡を示す。解答場面におけるdeoxyHbは小刻みな上下変動を繰り返しながらも上昇を示し、説明場面におけるdeoxyHbは均衡を示す。また、解答場面、説明場面ともに上下変動を繰り返すが、oxyHb、deoxyHbとも解答場面よりも説明場面の方が上下変動の回数が多い傾向にある。

難度が高いと回答した計量課題の解答場面(難度2)、説明場面(難度4)の特徴としては、次の点が挙げられる。解答場面でのoxyHbは他の2課題が上昇を続けるのに対し減少傾向を示し、deoxyHbは他の2課題と比較して上昇が大きい傾向にある。説明場面でのoxyHbは他の2課題と同様に上下変動を繰り返すが、deoxyHbは他の2課題と比較して上下変動が大きい

い傾向にある。

5. 考 察

5.1. 正誤

5名の被験者に対して合計15課題（一人あたり3課題，6場面）実施した中で，誤答は1課題のみであったことより，被験者は課題の内容を正しく理解し遂行したと判断した。

5.2. 行動観察

5名の課題遂行時の平均所要時間より，説明場面よりも解答場面に多くの時間を要し，標準偏差も大きい傾向がみられた。これは，既習の数学の理解度や記憶度に個人差があり，問題を解くはやさが被験者によって大きく異なることに原因があると考えられる。一方，説明場面では，既に解答記述が手元にあり，それをもとに説明を行うために，被験者間での大きな時間差が生じず，標準偏差が小さい結果になったと考えられる。

難度については，代数課題が解答場面，説明場面とも低い結果となった。所要時間の短さと考え合わせると，課題のレベルが幾何課題と計量課題よりもかなり低かったといえる。一方，幾何課題では解答場面の難度が高く，計量課題では説明場面の難度が高い結果となった。幾何課題の難度の高さは論証問題特有の証明形式の厳格さによるものであると考えられる。そのため，正確な記述（解答）が得られれば，説明はその順に沿って行えばよい。説明場面の難度は低い結果となったといえる。計量課題では，立体図形（円錐）の表面積を求める課題であるため，被験者が解答することはそれほど困難ではなかったが，立体図形と展開図の関係を説明することや，円錐の底面の円周と展開図上の扇形の円弧の長さが同じになることを他者（中学生を想定）に説明することが非常に困難であると感じたことによるものであると考えられる。

被験者A～Cの3名の事後の感想では，全般的に解答場面よりも説明場面において戸惑いや工夫を試みたことが記述されており，被験者A，B，C以外の被験者2名においても同様の記述が見られた。所要時間だけを見ると全般的に説明場面の方が短い，説明の順序，使用する言葉の選択といったことに注意が向いていることから，解答場面よりも気を遣いながら課題遂行を行っていたのではないかと予想される。

5.3. ヘモグロビン濃度変化

課題遂行時の被験者A，B，Cの左右前額部のヘモグロビン濃度を検討した結果，次のような特徴が見られた。左右部位の比較をすると，いずれの被験者も類似した傾向にあり，大きく左右で変化が異なることはなかった。この傾向は，被験者A，B，C以外の被験者2名にも見られた。このことは，脳が局所的に活動するというよりも，課題の種別や課題遂行状況に伴って全体として脳が活動を変化させた結果であるといえる。なお，被験者Aでは $oxyHb$ が，被験者Bでは $deoxyHb$ がそれぞれ左側で高い値を示したが，その要因が課題遂行の影響に因る

のか、生理学的な個人特性によるものであるのかは、現段階では明らかではなく、今後さらに実験数を増やして検証していく必要がある。

課題ごとの特徴として、代数課題の解答場面では、全般に oxyHb, deoxyHb のいずれもが増加する傾向にあり、説明場面では、oxyHb, deoxyHb とともに均衡、あるいは山型を示す傾向にあった。幾何課題の解答場面は、代数課題と同様、全般に oxyHb, deoxyHb のいずれもが増加する傾向にあったが、説明場面は、oxyHb, deoxyHb とともに均衡となる傾向にあった。計量課題の解答場面では、上記2課題と同様、全般に oxyHb, deoxyHb のいずれもが増加する傾向にあり、説明場面は、幾何課題と同様、oxyHb, deoxyHb とともに均衡となる傾向にあった。この傾向は、被験者 A, B, C 以外の被験者2名にも見られた。

解答と説明の場面ごとの特徴として、解答場面は、代数課題、幾何課題、計量課題の3課題とも全般に oxyHb, deoxyHb のいずれもが増加する傾向であった。これは、短時間で解答を求めなくてはいけないという心理的な側面が影響し、血液の流入が促進され oxyHb が増加したと考えられる。併せて、解答を求めるために脳活動が生じ、酸素消費がなされた結果、deoxyHb の増加につながったと考えられる。一方、説明場面については、代数課題は、oxyHb, deoxyHb とともに均衡、あるいは山型を示す傾向にあったが、幾何課題と計量課題は、oxyHb, deoxyHb とともに均衡となる傾向にあった。また、解答場面と説明場面の上下変動の回数を比較すると、説明場面の回数の方が多く、明らかに解答場面とは異なる脳活動がなされたことが推測される。これは、説明場面では、所要時間を気にすることよりも、落ち着いた思考と、正確な順序で話すことが求められることから、oxyHb の急激な流入というよりは、oxyHb と deoxyHb の相互の需要・供給の関係が保たれた結果によるものではないかと予想される。

6. 結 語

本研究では、数学課題を解答する場合と、その解答を他者に説明する場合の二つの状況を設定し、左右前額部のヘモグロビン濃度変化の特徴を検討した。その結果、明らかになったことをまとめると、次の4点となる。

- 1) 5名の被験者とも解答場面と説明場面は、所要時間、事後の感想より、明らかに異なるものと捉え課題遂行を行っていることから、両者の活動が質的に異なること。
- 2) ヘモグロビン濃度については、いずれの課題においても課題遂行と同時に変化しており、課題遂行と脳内のヘモグロビン濃度が関連して変化すること。
- 3) 解答場面では、oxyHb, deoxyHb の双方の上昇が見られ、これは短時間に解答を求められるという課題特性から、課題解決のために oxyHb が大幅に流入し、脳活動における酸素消費により deoxyHb が増加した結果と予想されること。

4) 説明場面では, oxyHb, deoxyHb の双方で上下変動の回数の増加と, 全体としての均衡が見られたが, これは落ち着きと正確さが求められるという課題特性から, oxyHb と deoxyHb の需要・供給のバランスによって上下変動が生じた結果と予想されること。

なお, 説明場面では, 記述に加えて口述という活動が付加されている。したがって, 口述という顔面運動の影響が何らかの形でデータに反映した可能性も考えられ, それらの影響を考慮した実験が必要となる。その際, 無意味な文言を口述するのか, 用意された文章を音読するのか, あるいは自ら考えたことを口述するのかといった違いを十分に検討しておく必要がある。すなわち, 同一に見える活動を保証したとしても, そこでの活動が持つ学習上における意味の違いが存在する場合があります, 脳科学と教育学との接点を探る上では, これらの点を踏まえ研究をすすめることが重要となる。

〔参考文献〕

- 江田英雄 (2001) 光計測で脳活動をみる. 数理科学, 461, サイエンス社, 東京: 77-83
- 加藤忠史 (2007) 「脳を鍛える」ブームの根底にあるもの. 教育学研究, 74 (2): 152-160
- 黒田恭史 (2005) 計算課題遂行時の脳内ヘモグロビン濃度変化の特徴 — 減法課題を用いて —, 佛教大学教育学部論集, 16: 37-50
- 黒田恭史, 岡本尚子 (2006) 脳科学の数学教育への応用の可能性とその限界. 数学教育学会誌, 47 (1・2): 37-44
- 岡本尚子, 江田英雄, 山内留美, 前迫孝憲, 小池敏英, 黒田恭史 (2006) 立体構成課題における前頭前野の酸素消費の特徴について. 臨床脳波, 48 (6): 101-107
- 岡本尚子, 黒田恭史 (2007) 図形課題遂行時における助言がもたらす脳活動の特徴. 数学教育学会大学院生部会発表論文集, 11: 5-10
- 佐藤学 (1999) 教育改革をデザインする. 岩波書店, 東京
- 柳本哲, 他8名 (2001) 「日・中遠隔協同学習」に投影された日本の数学教育の課題 (I). 数学教育学会誌, 42 (3・4): 15-24
- 横地清編著 (1969) 講座・算数授業の改造 第1巻 思考と学力. 明治図書, 東京: 133-141

付記1: 本稿の1, 2, 5, 6については黒田恭史が, 3, 4については岡本尚子が執筆を担当した。

付記2: 本研究は, 平成19年度佛教大学特別研究補助費, 及び平成19～20年度文部科学省科学研究費補助金 (基盤研究 (B)) (代表者: 黒田恭史) [課題番号: 19300287] の支援を受けている。

(くろだ やすふみ 教育学科)

(おかもと なおこ 大阪大学大学院人間科学研究科)

2007年9月21日受理